

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: 10290027 A

(43) Date of publication of application: 27.10.98

(51) Int. Cl.

H01L 33/00
H01L 21/205
H01S 3/18

(21) Application number: 10020907

(22) Date of filing: 02.02.98

(30) Priority: 12.02.97 JP 09 27749

(71) Applicant: TOSHIBA CORP

(72) Inventor:
JOHN LENEY
HATAGOSHI GENICHI
ONOMURA MASAOKI

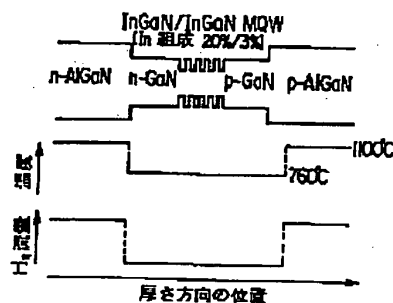
(54) SEMICONDUCTOR LIGHT EMITTING DEVICE
AND MANUFACTURE THEREOF

(57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To make the light emission of an active layer uniform and to make it possible to achieve the low threshold current, the low operating voltage and the high reliability by selecting the optimum place and conditions without generating defects in a multilayered structure for changing or growing temperature, pressure, the flow rate of carrier gas such as hydrogen and the like in the growing of a clad layer having a specified expression.

SOLUTION: A semiconductor light emitting device has the band structure or the GaN-based multilayered structure including an InGaN/InGaN (In composition 20%/30%) MQW active layer, a GaN wave guide layer and an AlGaIn clad layer. In this manufacturing method, during the growth of the clad layer comprising $\text{In}_x\text{Ga}_y\text{Al}_z\text{B}_{1-x-y-z}\text{N}$ ($0 \leq x, y, z \leq 1$, $2x+y+z=1$), the growing temperature or the pressure in a growing tank is changed from the first temperature to the second temperature or from the first pressure to the second pressure. Then, the changing of the temperature and H_2 gas is performed during the growing of a p-AlGaIn clad layer. Thus, the defect density is decreased, the efficiency of the GaN-based semiconductor is improved and the threshold current is decreased.

COPYRIGHT: (C)1998,JPO



(19)日本国特許庁(JP)

(12)公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平10-290027

(43)公開日 平成10年(1998)10月27日

(51)Int. Cl.⁶

識別記号

F I

H 0 1 L 33/00

H 0 1 L 33/00

C

21/205

21/205

H 0 1 S 3/18

H 0 1 S 3/18

審査請求 未請求 請求項の数6

O L

(全15頁)

(21)出願番号 特願平10-20907

(22)出願日 平成10年(1998)2月2日

(31)優先権主張番号 特願平9-27749

(32)優先日 平9(1997)2月12日

(33)優先権主張国 日本(JP)

(71)出願人 000003078

株式会社東芝

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

(72)発明者 ジョン・レニー

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株

式会社東芝研究開発センター内

(72)発明者 波多腰 玄一

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株

式会社東芝研究開発センター内

(72)発明者 小野村 正明

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株

式会社東芝研究開発センター内

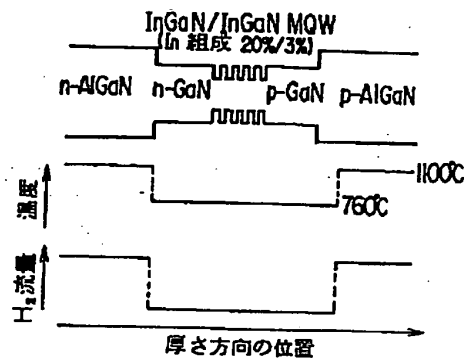
(74)代理人 弁理士 鈴江 武彦 (外6名)

(54)【発明の名称】半導体発光装置及びその製造方法

(57)【要約】

【課題】導波層とクラッド層界面の欠陥密度を制御することにより、活性層における発光が均一化された高効率で高信頼性のGaN系半導体発光装置を得る。

【解決手段】GaN系半導体発光装置を形成する際、特に上部p-GaN導波層とp-AlGaNクラッド層との界面近傍において、成長温度と圧力の上昇又はp-AlGaNを効率的に成長するのに必要なキャリアガス流量とNH₃流量の増加により、発生する高密度の欠陥を制御する方法と構造を提供する。温度、圧力の上昇とキャリアガス、NH₃流量増加をクラッド層成長中に行うか成長後に行うか同時に行うか独立に行うか、あるいは導波層とクラッド層との間に欠陥発生を防止するInAlGaN又はInGaNバッファ層を導入することにより、前記欠陥密度を大幅に低減することができる。また上記GaNとAlGaNの界面に多量に生じる欠陥を半導体発光装置の電流狭窄に応用することができる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 少なくとも活性層と、導波層と、クラッド層からなる多層構造を具備する半導体発光装置の製造方法において、

前記多層構造の成長条件から温度条件を選択し、

$\text{In}_x\text{Ga}_y\text{Al}_z\text{B}_{1-x-y-z}\text{N}$ ($0 \leq x, y, z \leq 1, 0 \leq x+y+z \leq 1$) からなる前記クラッド層の成長中に、前記温度条件を第1の温度から第2の温度に切り替える工程を含むことを特徴とする半導体発光装置の製造方法。

【請求項2】 請求項1記載の選択された成長条件は、成長槽の圧力であって、

$\text{In}_x\text{Ga}_y\text{Al}_z\text{B}_{1-x-y-z}\text{N}$ ($0 \leq x, y, z \leq 1, 0 \leq x+y+z \leq 1$) からなるクラッド層の成長中に、前記成長槽の圧力を第1の圧力から第2の圧力に切り替える工程を含むことを特徴とする半導体発光装置の製造方法。

【請求項3】 請求項1記載の選択された成長条件は、キャリアガスの種類と流量とであり、前記キャリアガスの種類は水素及び窒素のいずれか、又はこれらの混合ガスからなる第1及び第2のキャリアガスであって、

$\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_z\text{B}_{1-x-y-z}\text{N}$ ($0 \leq x, y, z \leq 1, 0 \leq x+y+z \leq 1$) からなるクラッド層の成長中に、前記キャリアガスを第1の流量の前記第1のキャリアガスから第2の流量の前記第1及び第2のキャリアガスのいずれか1つに切り替える工程を含むことを特徴とする半導体発光装置の製造方法。

【請求項4】 少なくとも活性層と、導波層と、クラッド層からなる多層構造を具備する半導体発光装置の製造方法において、

前記多層構造の成長条件から温度条件を選択し、

$\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_z\text{B}_{1-x-y-z}\text{N}$ ($0 \leq x, y, z \leq 1, 0 \leq x+y+z \leq 1$) からなる導波層の成長中に、前記成長温度を第1の温度から第2の温度に切り替える工程を含むことを特徴とする半導体発光装置の製造方法。

【請求項5】 少なくとも活性層と、導波層と、クラッド層と、コンタクト層とを具備する半導体発光装置において、

$\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_z\text{B}_{1-x-y-z}\text{N}$ ($0 \leq x, y, z \leq 1, 0 \leq x+y+z \leq 1$) からなるクラッド層に隣接して形成された $\text{In}_u\text{Al}_v\text{Ga}_w\text{B}_{1-u-v-w}\text{N}$ ($0 \leq u, v, w \leq 1, 0 \leq u+v+w \leq 1$) からなる電流狭窄層と、

前記電流狭窄層に隣接して形成された $\text{In}_r\text{Al}_s\text{Ga}_t\text{B}_{1-r-s-t}\text{N}$ ($0 \leq r, s, t \leq 1, 0 \leq r+s+t \leq 1$) からなるコンタクト層とを有し、

かつ、前記電流狭窄層と前記コンタクト層との界面に含まれる欠陥の面密度が前記電流狭窄層内部及び前記コンタクト層内部において、それぞれ主面に平行な面内に含

まれる欠陥の面密度に比べて大なることを特徴とする半導体発光装置。

【請求項6】 少なくとも活性層と、導波層と、クラッド層とを具備する半導体発光装置において、

前記活性層と、 $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_z\text{B}_{1-x-y-z}\text{N}$ ($0 \leq x, y, z \leq 1, 0 \leq x+y+z \leq 1$) からなるクラッド層との間に、 $\text{In}_u\text{Al}_v\text{Ga}_w\text{B}_{1-u-v-w}\text{N}$ ($0 \leq u, v, w \leq 1, 0 \leq u+v+w \leq 1$) からなるバッファ層が含まれたことを特徴とする半導体発光装置。

10 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は半導体発光装置及びその製造方法に係り、特にGaN系青紫色半導体レーザ（以下LDと略称）、またはGaN系高輝度青緑色発光ダイオード（以下LEDと略称）に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 近年、GaN、InGaN、AlGaN、InAlGaN等のGaN系化合物半導体が、高密度光ディスクシステム等への応用を目的とする青紫色LD、高輝度青緑色LEDの材料として注目されている。以下本明細書において3元系、4元系化合物半導体の組成を表すサフィックスは、特に必要がある場合の他は省略することにする。

【0003】 例えば発光波長の短いLDを光ディスク等の光源として用いれば、集光サイズを小さくすることができるので、高い記録密度を達成するのに極めて有効である。しかし、GaN系LDについては、室温におけるLD動作のしきい値電圧が8V以上と高く、かつ大きなばらつきを示し、まだ実用上満足できる特性が得られていないのが現状である。

【0004】 Mgを添加することにより、始めてp型GaN（以下p-GaNと略称）の形成に成功して以来、近紫外乃至青色の可視領域レーザの商品化が各地で進められたが、限定された範囲で一部にレーザ発光がみられたものの、まだ克服すべき多くの課題が残されている。

【0005】 主な問題点の1つとして、従来のGaN系化合物半導体層の成長過程において、欠陥を多量に含む層が不可避免的に発生するため、活性層の発光が均一に行われないことがあげられる。

【0006】 この発光の不均一性は、活性層と導波層の成長温度が760℃～800℃と隣接するクラッド層の成長温度1100℃より低く、このため活性層及び導波層の成長の終了時点、すなわちクラッド層の成長開始前に成長温度を大きく増加しなければならないことに関係している。このとき上部活性層表面又は導波層表面に表面欠陥、又は表面欠陥から増殖した欠陥が多量に含まれる界面層が発生する。

【0007】 前記界面層における欠陥密度の高い部分が他に比べて高抵抗となり、界面層の欠陥密度分布に依存して活性層の電流密度分布が不均一となり、発光強度の

不均一を生じる。このように不均一な発光は、LD動作のしきい値電流としきい値電圧を増加させる。

【0008】クラッド層の成長温度を低くすれば、欠陥を多量に含む界面層の発生は抑制されるが、低い成長温度では $p\text{-AlGaIn}$ 、又は $p\text{-GaIn}$ からなる高濃度の p 型クラッド層を得ることができない。従って低い成長温度では、導波層の上部に設けた p 型クラッド層が高抵抗となり、LDの動作電圧が極めて高くなる。

【0009】すなわち、従来の GaIn 系半導体発光装置においては、装置構成に必要な多層構造の形成を同一温度で行うことができないため、成長温度の異なる異種材料のヘテロ界面において高抵抗の領域を生じていた。このため、素子抵抗が増大するばかりでなく、活性層に均一にキャリアを注入することができないことから、LD動作のしきい値電流及び動作電圧が上昇し、禁制帯幅から見積もられる電圧よりはるかに高い動作電圧が必要になっていた。

【0010】このように、従来光ディスク等に応用される低しきい値電流で、かつ低電圧動作の高信頼性青紫色LD、高輝度青緑色LEDを実現するためには、 GaIn 系半導体発光装置の抵抗を抑制すると共に、活性層へのキャリア注入を均一かつ効率的に行うことが重要な問題点であった。

【0011】

【発明が解決しようとする課題】上記したように、従来の GaIn 系半導体発光装置は、同一温度で低抵抗の多層構造を成長することが難しく、例えばクラッド層の形成の際、導波層とのヘテロ界面で温度条件を切り換える必要があった。一方、温度条件の切替えにより、成長温度の異なる結晶が接合されるヘテロ界面において、欠陥密度の高い界面層を発生し、装置抵抗の増大と活性層への不均一なキャリア注入とを生じるという問題があった。

【0012】本発明は上記の問題点を解決すべくなされたもので、 GaIn 系半導体発光装置の主要部をなす多層構造を成長する際、成長条件の切り換えを行う適切な場所を選択すること、又は適切な場所にバッファ層を導入することにより、活性層における発光が均一で、かつ低しきい値電流、低動作電圧、高信頼性の GaIn 系半導体発光装置とその製造方法を提供することを目的とする。

【0013】

【課題を解決するための手段】本発明の半導体発光装置の製造方法は、半導体発光装置の多層構造を成長する際、低抵抗の p 型クラッド層を効率的に成長するのに必要な、成長温度、圧力、水素または窒素からなるキャリアガスの流量等の切替えを、前記多層構造に欠陥を生じることなく行う最適な場所と条件とを選択することにより、上記の課題を解決するものである。

【0014】本発明の半導体発光装置は、欠陥密度の高い領域がヘテロ界面から例えばクラッド層の内部に移された構造とすることにより、高い発光効率を得ることを

特徴とする。

【0015】また本発明の半導体発光装置は、高密度の欠陥を含む界面層を GaIn 系LDの電流狭窄構造の形成に役立てようとするものである。またバッファ層を介してクラッド層を成長することにより、温度条件とキャリアガス流量等の切替えによる欠陥の発生が抑制された多層構造を得ることを特徴とする。

【0016】具体的には本発明の半導体発光装置の製造方法は、少なくとも活性層と、導波層と、クラッド層とを具備する半導体発光装置の製造方法において、 $\text{In}_x\text{Ga}_y\text{Al}_z\text{B}_{1-x-y-z}\text{N}$ ($0 \leq x, y, z \leq 1, 0 \leq x+y+z \leq 1$) からなるクラッド層の成長中に、成長温度又は成長槽内の圧力を第1の温度から第2の温度、又は第1の圧力から第2の圧力に切り替える工程を含むことを特徴とする。

【0017】また、水素及び窒素のいずれか、又はこれらの混合ガスからなるキャリアガスを第1及び第2のキャリアガスとし、第1の流量を有する前記第1のキャリアガスを用いて $\text{In}_x\text{Ga}_y\text{Al}_z\text{B}_{1-x-y-z}\text{N}$ ($0 \leq x, y, z \leq 1, 0 \leq x+y+z \leq 1$) からなるクラッド層の成長中に、前記キャリアガスを第2の流量を有する前記第1及び第2のキャリアガスのいずれかに切り替える工程を含むことを特徴とする。ここで、好ましくは第1のキャリアガスは水素の組成が低く、第2のキャリアガスは水素の組成が高いことを特徴とする。

【0018】本発明の半導体発光装置の製造方法は、 $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_z\text{B}_{1-x-y-z}\text{N}$ ($0 \leq x, y, z \leq 1, 0 \leq x+y+z \leq 1$) からなる導波層の成長中に、成長温度を第1の温度から第2の温度に切り替える工程を含むことを特徴とする。

【0019】本発明の半導体発光装置は、 $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_z\text{B}_{1-x-y-z}\text{N}$ ($0 \leq x, y, z \leq 1, 0 \leq x+y+z \leq 1$) からなるクラッド層に隣接して形成された $\text{In}_u\text{Al}_v\text{Ga}_w\text{B}_{1-u-v-w}\text{N}$ ($0 \leq u, v, w \leq 1, 0 \leq u+v+w \leq 1$) からなる電流狭窄層と、前記電流狭窄層に隣接して形成された $\text{In}_r\text{Al}_s\text{Ga}_t\text{B}_{1-r-s-t}\text{N}$ ($0 \leq r, s, t \leq 1, 0 \leq r+s+t \leq 1$) からなるコンタクト層とを有し、かつ、前記電流狭窄層と前記コンタクト層との界面に含まれる欠陥の面密度が、前記電流狭窄層内部及び前記コンタクト層内部において、それぞれ主面に平行な面内に含まれる欠陥の面密度に比べて大なることを特徴とする。

【0020】これを用いて、前記電流狭窄層の界面では欠陥を発生させて電流を制限し、電流を流す領域には欠陥が生じないようにして、動作電流を活性層の中央部に集中することができる。

【0021】また本発明の半導体発光装置は、活性層と、 $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_z\text{B}_{1-x-y-z}\text{N}$ ($0 \leq x, y, z \leq 1, 0 \leq x+y+z \leq 1$) からなるクラッド層との間に、 $\text{In}_u\text{Al}_v\text{Ga}_w\text{B}_{1-u-v-w}\text{N}$ ($0 \leq u, v, w$

≤ 1 、 $0 \leq u+v+w \leq 1$) からのバッファ層が含まれたことを特徴とする。

【0022】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して本発明の実施の形態を詳細に説明する。はじめに本発明の実施の形態との対比を明確にするために、従来のGaN系半導体発光装置の多層構造の成長に含まれる格子欠陥制御の問題をさらに詳細に説明する。

【0023】本発明に直接関連する問題点として、従来の典型的なGaN系半導体発光装置の構造において、欠陥を多量に含むヘテロ界面が発生することを図16を用いて説明する。

【0024】図16に示すGaN系半導体発光装置の主要部は、InGaN/InGaN超格子(In組成比20%/3%のMQW(多量子井戸)構造)活性層6、GaN導波層5及び7、AlGaNからなるクラッド層4及び9からなっている。

【0025】クラッド層4、9は禁制帯の幅が大きく、活性領域6への有効な光閉じ込めとキャリア閉じ込めを行う。前記GaN系半導体発光装置は、下部にn-GaNコンタクト層2を有し、GaN系多層構造全体がサブファイア基板1の上に形成される。SiO₂からなる絶縁膜11により形成されたストライプを用いて発光装置の電流狭窄を行う。

【0026】本発明は、図16に示す構造のほか、例えば埋め込みストライプのような、他の光及び電流閉じ込め構造を有するものにも適用することができる。図16に示すように、従来のGaN系半導体発光装置は、多層構造の成長過程で上部導波層7とp-AlGaNクラッド層9とのヘテロ界面に欠陥密度が高い界面層8が導入される。

【0027】クラッド層、導波層、活性層を含む4~9のGaN系の多層構造のエネルギーバンド構造図と、MOCVD(Metal-Organic Chemical Vapor Deposition)による従来の多層構造の成長条件とを対比して図17に示す。ここに超格子(以下MQW: Multi-Quantum Wellと呼ぶ)からなる活性層6の構造は、厚さ2nmのアンダーIn_{0.2}Ga_{0.8}N量子井戸層が5層と、それを挟む厚さ4nmのアンダーIn_{0.03}Ga_{0.97}N障壁層からなっている。

【0028】図17に示すように、良好なステップ状プロファイルの量子井戸構造を形成するためには、成長温度を760℃~780℃と比較的低温にし、かつキャリアガスH₂の流量を低くすることが必要である。しかし、MQW構造の上に一定の厚さのGaN(導波層の一部)を成長した後は、H₂ガスの流量を高め、成長温度を1100℃とAlGaN結晶の成長に適した高温条件にしてもMQW構造が変化することはない。

【0029】ここで、以下の各実施の形態と密接に関連するため、GaN上のAlGaNのヘテロエピタキシャ

ル成長過程に及ぼす温度とH₂ガス流量の影響について、さらに具体的に説明する。

【0030】図17に示すように、p-GaN導波層とp-AlGaNクラッド層との界面において、成長温度とキャリアガスH₂の流量とをAlGaNの成長に適した値に高めなければならない。このときキャリアガスH₂の切替えは短時間に行われるが、760℃から1100℃までの大幅な温度条件の切替えには、MOCVD装置の温度変化の時定数や、制御系の時間変化の設定により定まる一定の時間が必要になる。

【0031】GaNとAlGaNとのヘテロ界面で成長条件の切り替えを行わなければ、GaNの成長条件で成長したAlGaNの結晶性は大きく低下し、また前記AlGaNとの界面におけるp型ドーパントの活性化率もかなり低下する。従ってGaN上のAlGaNとのヘテロ界面の成長は、AlGaN成長の最適条件に到達してから開始しなければならない。

【0032】図17において、p-GaN導波層の成長が終了した時点で、一旦原料ガスの供給を停止し、キャリアガスH₂の流量のみをAlGaN成長の最適値まで増加し、同時に切り換えられたMOCVD装置の温度条件がAlGaN成長の最適値に到達するのを待って、AlGaN成長用原料ガスをキャリアガスH₂に混入し、AlGaNのエピタキシャル成長を開始する。

【0033】このように、良好な界面特性を得るためヘテロ界面において一定時間エピタキシャル成長を中断すれば、この間基板となるGaN結晶の表面は原料ガスを含まない、高温でかつ流量の大きいH₂ガス中に一定時間晒されることになる。

【0034】GaN表面はAlGaN表面に比べて、高温でかつ流量の大きいH₂ガスにより容易に表面荒れを生ずるため、図16に示すように、従来p-GaN導波層とp-AlGaNクラッド層との間に欠陥密度の高い界面層8を生じていた。

【0035】以上、成長温度とH₂ガス流量とがGaN系多層構造の成長に及ぼす影響について説明したが、この他エピタキシャル成長槽の圧力と、原料ガスの1つであるNH₃(アンモニア)の流量とが、欠陥密度の高い界面層8の発生に密接に関連する。その他のGa、Al又はドーパントとして用いる不純物の原料ガスの流量等は、直接的には前記欠陥密度と無関係であり、単にその流量比を所要の化合物の組成比に合わせて制御すればよい。

【0036】通常の成長条件における成長槽の圧力と、NH₃の流量との制御方法を図18に示す。このように圧力を一定に保ち、NH₃の流量をn側及びp側のAlGaNクラッド層の成長の際には高くし、MQW活性層とその両側のGaN導波層の成長の際には低くする。このようにAlGaNクラッド層とGaN導波層とのヘテロ界面でNH₃の流量を大幅に切り換えれば、前記ヘテ

ロ界面に多量の欠陥が導入される。

【0037】成長槽の圧力を下げれば前記MQW活性層とGa_{0.5}N導波層の結晶性が改善されるが、AlGa_{0.5}Nクラッド層との境界で圧力を高圧に切り換え、かつ、NH₃の流量も同時にAlGa_{0.5}Nクラッド層の成長に見合う条件に切り換えなければならないので、両者の相乗効果によりヘテロ界面に多量の欠陥が導入される。

【0038】従来行われてきたように、AlGa_{0.5}Nクラッド層とGa_{0.5}N導波層とのヘテロ界面で成長温度、キャリアガスH₂の流量、成長槽の圧力、またはNH₃の流量を切り換えれば、ヘテロ界面に高密度の欠陥が導入される。このとき、欠陥密度の高い界面層がGa_{0.5}N系多層構造のバンド構造に及ぼす影響を、図19に模式的に示す。

【0039】メッシュで示した界面領域の幅は、結晶成長の中断によりGa_{0.5}N表面に発生した欠陥を種として、AlGa_{0.5}Nクラッド層に侵入した欠陥密度の高い界面層8の幅を示している。

【0040】メッシュで示した界面領域の高さは、界面層に捕獲されるキャリアにより生じたバンド構造の不連続の度合いを示す。矢印で示した温度又は圧力、H₂流量又はNH₃流量の大幅な変化により、欠陥密度の高い界面層の影響が幅と高さの両面にわたってバンド構造を大きく変化する状況が示されている。図20に欠陥密度の高い界面層8の導入により、バンド構造が受ける変化をさらに具体的に示す。

【0041】p-Ga_{0.5}N導波層とp-AlGa_{0.5}Nクラッド層との間に生じた多数の欠陥は、ヘテロ界面に図20に示すような価電子帯の障壁を形成し、正孔が活性領域に流入するのを妨げる。また、正孔が前記界面に生じた非発光再結合中心に捕らえられ、電子と再結合して消滅する過程が促進される。このように、活性層中の電子と正孔のバンド間発光が妨げられるため、活性領域からの発光は界面層における欠陥の密度分布に応じて不均一なものとなる。

【0042】図16のp側電極12を透明電極とし、上部から活性層の発光状態を観察できるようにして、不均一な発光状態を観察した結果を図21に示す。欠陥密度の少ない部分に対応してスポット状の発光が明瞭に観察される。

【0043】以下の実施の形態でのべるように、本発明は、多層構造の中で温度を切り換える場所、キャリアガスの種類または流量を切り換える場所、成長槽の圧力とNH₃の流量を切り換える場所を選択して成長条件を制御すること、特に欠陥の発生が問題となる場所に特定のバッファ層を設けることにより、ヘテロ界面における高密度の欠陥の発生を回避しようとするものである。

【0044】以下の実施の形態の導波層、クラッド層、コンタクト層等を形成するGa_{0.5}N系材料の種類は1例として示すものであり、同様の効果は、導波層としてIn

_{0.5}Al_xGa_yB_{1-x-y-z}N (0 ≤ x, y, z ≤ 1, 0 ≤ x+y+z ≤ 1)、クラッド層としてIn_uAl_vGa_wB_{1-u-v-w}N (0 ≤ u, v, w ≤ 1, 0 ≤ u+v+w ≤ 1)、コンタクト層としてIn_rAl_sGa_tB_{1-r-s-t}N (0 ≤ r, s, t ≤ 1, 0 ≤ r+s+t ≤ 1)を用いて、x, y, z及びu, v, w及びr, s, tの値をそれぞれ導波層、クラッド層、コンタクト層として最適化することにより得ることができる。

【0045】以下、活性層がInGa_{0.5}N、導波層がGa_{0.5}Nの場合についてのべるが、同様の効果は導波層が例えばIn_xGa_{1-x}N (0 < x ≤ 0.1)の場合にも得ることができる。

【0046】図1に基づき、本発明の第1の実施の形態の半導体発光装置の製造方法について説明する。図1にInGa_{0.5}N/InGa_{0.5}N (In組成20%/3%) MQW活性層、Ga_{0.5}N導波層、AlGa_{0.5}Nクラッド層を含むGa_{0.5}N系多層構造のバンド構造と、MOCVD法による多層構造の成長条件とを対比して示す。

【0047】第1の実施の形態では、温度とH₂ガスの切替えをp-AlGa_{0.5}Nクラッド層の成長中に行うことに特徴がある。このとき、p-Ga_{0.5}Nとp-AlGa_{0.5}Nのヘテロ界面の形成は、p-AlGa_{0.5}Nの最適成長条件よりも低い温度(760℃)とH₂ガス流量とで行われるため、p型不純物であるMgイオンの活性化が不十分となり、AlGa_{0.5}N中の正孔濃度が規定値よりも低くなる。

【0048】しかし前述のように、キャリアガスH₂の流量の増加は短時間に行うことが可能であり、また、ヘテロ界面においては温度条件が変化しないため、エピタキシャル成長過程を中断することなく、AlGa_{0.5}N成長の原料ガスをほぼ連続的にキャリアガスH₂に導入することができる。このため、ヘテロ界面における欠陥密度は大幅に減少する。

【0049】また、第1の実施の形態ではキャリアガスH₂の増加と温度の上昇はAlGa_{0.5}Nの成長中に行われるので、キャリアガスH₂中の原料ガスの組成は、AlGa_{0.5}Nを成長するのに必要な一定の比率を維持してその流量を増加すればよい。このため、760℃から1100℃に成長温度が上昇する間、エピタキシャル成長を中断することなく、欠陥の少ないAlGa_{0.5}Nの成長を継続することができる。

【0050】この場合、温度上昇前に760℃で成長したAlGa_{0.5}Nは、Mgイオンの活性化率が低いので、ヘテロ界面に隣接するp-AlGa_{0.5}N中の正孔濃度は規定値よりも低くなる。しかし、引き続きp-AlGa_{0.5}Nクラッド層の成長が高温、高H₂ガス流量で行われるので、前記Mgイオンの活性化がこの熱処理効果を受けることにより行われ、AlGa_{0.5}Nクラッド層の正孔濃度は規定の値に回復する。ここで、低温で成長したAlGa_{0.5}N領域の結晶性は、高温成長の場合に比べて劣るという

問題があるが、低温で成長するAlGaIn領域の厚さを小さくすれば、この問題を回避することができる。

【0051】前述したように、従来は成長条件の切替えがヘテロ界面で行われていたが、第1の実施の形態では、成長条件の切替えがAlGaIn中で行われるため、結晶成長を一旦停止する必要がなく、従って切替え時に高密度の欠陥を発生することはない。

【0052】図2は、温度とキャリアガスH₂の切替えがp-AlGaInクラッド層の成長中になされた場合の、バンド構造への影響を示す模式図である。従来のGaIn系発光装置に比べて、成長条件の切替えに際して発生した欠陥密度の高い界面層が大幅に減少する。

【0053】バンド構造に生ずる変化をさらに具体的に図3に示す。欠陥密度が大幅に減少し、また、欠陥が高濃度のp-AlGaIn中に存在することにより、エネルギーバンドの曲がりど、正孔に対する障壁が大幅に抑制される。従って活性層への正孔の流入が一段と均一化され、欠陥の不均一な分布に基づく不均一発光を回避することができる。

【0054】このように、成長条件の切替えが高濃度のp-AlGaIn層中で行われることにより欠陥密度が減少し、正孔電流に対する障壁の発生が抑制されるのであるが、この効果はp型不純物として添加されたMgが母体結晶に可撓性を与え、このため、GaInとAlGaInとの間に歪みを生じても欠陥の発生が抑制されることから説明することができる。

【0055】Mgイオンは、Gaイオン及びInイオンのいずれよりも大きい。従って、GaIn系結晶中にMgイオンが不純物として取り込まれれば、Mgイオンの周辺に僅かな格子歪みが発生する。このことは、GaInとAlGaInの境界に発生する欠陥密度を減少しようとする目的に反するように思われる。

【0056】しかし、Mgイオンが結晶中に与える歪みは、転位の移動とこれに伴う欠陥の増殖を抑制する作用があり、従ってMgイオンの添加により、欠陥に影響される層の幅が減少する。

【0057】欠陥密度が減少することにより、活性層中の発光が電流狭窄用スリットに沿って均一化される状況を図4に示す。図2に比べて発光の均一性が大幅に改善される。

【0058】以上のべたように、従来のGaIn系半導体発光装置は、エピタキシャル成長の中断により導波層とクラッド層とのヘテロ界面に、欠陥密度の高い界面層を生じていたが、第1の実施の形態の製造方法を用いれば、ヘテロ界面における欠陥の面密度をほぼ零にすることができる。

【0059】なお、ここで欠陥密度とは、欠陥密度が2層の界面において一様に分布する場合、その界面領域の厚さxからx+Δxの範囲内に、その界面領域の単位面積当りに含まれる欠陥の数を求め、これをΔxで割った

ものである。Δxを無限小とすることにより、界面領域の厚さ方向の欠陥密度の変化率の分布を正確に与えることができる。

【0060】温度とH₂ガス流量の切替えは必ずしもp-AlGaInクラッド層の成長中に行う必要はなく、p-GaN導波層の成長中に行ってもよい。このときp-GaN導波層とp-AlGaInクラッド層とのヘテロ界面では、温度条件とH₂ガス流量が安定しているためほぼ連続的な成長が可能となり、ヘテロ界面におけるエピタキシャル成長の中断と、これに伴う欠陥の発生が大幅に低減される。また先に説明したのと同じ理由で、p-GaN導波層中の切替え場所における欠陥の発生は低減される。

【0061】次に図5に基づき本発明の第2の実施の形態について説明する。第2の実施の形態では、温度を上昇する場所とH₂ガスを増加する場所とをずらすことにより、従来のように両者を一致させた場合に相乗効果として生じる高密度の欠陥の発生を防止する。

【0062】例えば図5に示すように、温度上昇をp-GaNとp-AlGaInのヘテロ界面で行い、H₂流量の増加をp-AlGaIn中で行う。このようにすれば、ヘテロ界面においてはキャリアガスH₂の流量が小さいために、H₂とGaIn表面との複雑な表面反応によるGaIn結晶表面の荒れが小さくなり、界面における欠陥の発生が減少する。この方法の欠点はヘテロ界面に欠陥が残存することである。しかし従来の方法に比べれば、ヘテロ界面の欠陥を大幅に低減することができる。

【0063】またH₂流量の増加をp-GaNとp-AlGaInのヘテロ界面で行い、温度上昇をp-AlGaIn層中で行うこともできる。このようにして、両者を一致させた場合に相乗的に生じる高密度の欠陥の発生を緩和することができる。

【0064】またp-AlGaInクラッド層の成長を全て小さなH₂流量で行うこともできる。このときにもH₂とp-GaN表面及びp-AlGaIn表面との複雑な相互作用による表面の荒れが小さくなり、界面における欠陥の発生が減少する。

【0065】次に図6に基づき本発明の第3の実施の形態について説明する。図6に示すように、第3の実施の形態では成長温度の上昇とH₂流量を増加する場所を共にp-AlGaInクラッド層を成長した後とする。このようにすれば、p-AlGaInクラッド層とp-GaNコンタクト層とのヘテロ界面近傍の欠陥の影響は、p-GaN導波層とp-AlGaInクラッド層とのヘテロ界面で成長温度とH₂流量を増加した場合に比べて小さくすることができる。

【0066】その理由は、AlGaInはGaInに比べて高温で安定であるため、温度上昇による表面欠陥の発生が少ないこと、及びp-AlGaIn層全体をH₂の希薄な状態で成長することにより、温度の上昇過程でp-A

AlGaIn表面とH₂との複雑な相互作用による表面の荒れが小さいこと、及びクラッド層とコンタクト層には共に不純物が高温で添加され、障壁の発生が抑制されること等のためである。

【0067】この方法の欠点は、界面の問題は除去されるが、このようにして成長したAlGaInの結晶性が、通常の高温成長の場合に比べて劣ることである。従って、この方法を用いる場合には、AlGaInクラッド層の厚さを小さくしなければならない。

【0068】また第3の実施の形態では、AlGaInクラッド層中に添加されたMg不純物の活性化は、最後に高温で成長するGaInコンタクト層中でMg不純物が活性化される際、同時に行われる。

【0069】以上第1～第3の実施の形態では、全てGaIn系多層構造のp型側について、温度とH₂ガス流量を切り換える適切な場所を示したが、本発明の適用範囲は必ずしもp型側に限定されるものではない。例えば図1において、n-AlGaInクラッド層の上にn-GaIn導波層を成長する際、両者のヘテロ界面において温度とH₂流量とを共に低下させるが、このときにもエピタキシャル成長の中断を伴うためヘテロ界面に欠陥が発生する。

【0070】第3の実施の形態にのべたように、AlGaIn表面は高温、高H₂流量の雰囲気中でGaIn結晶よりも安定であるため、このとき界面に生じる欠陥密度は対応するp型側のヘテロ界面に比べて小さい。またGaIn系結晶においてn型側ではp型側のようにドーパントの活性化率の問題が小さい特徴がある。

【0071】しかし、本発明をp型側で実施した後は、n型側のヘテロ界面に生じる欠陥が活性層を貫いて動作電圧、しきい値電流、発光の均一性に影響を及ぼすことが無視できなくなるため、n型側においても、温度とH₂ガス流量を高い値から低い値に切り換える場所をp型側に対応して選定すれば、さらに良好なデバイス特性を得ることができる。

【0072】上述したように本発明は、成長条件の切り換え位置を結晶の組成が変わるヘテロ界面の位置からずらすことを趣旨としているが、組成切り換えに伴う微小な温度変化の存在を制限するものではない。

【0073】また第1乃至第3の実施の形態では、全てGaIn系多層構造をn型側から成長する場合について説明したが、p型側から成長する場合にも本発明の方法を同様に適用することができる。このときp型側では温度とH₂ガス流量を高い値から低い値に切り換え、n型側では逆に低い値から高い値に切り換えることになる。この場合も切り換え場所を第1乃至第3の実施の形態で説明した場所とすれば良好な結果が得られることはいままでの。

【0074】次に図7、図8に基づき、本発明の第4の実施の形態を説明する。第4の実施の形態では図7に示

すように、成長温度の上昇とキャリアガスの流量の増加を第1の実施の形態と同様AlGaInクラッド層の成長中に行うのであるが、このとき図7の下段に示すように、キャリアガスの種類を同時に切り替える点に特徴がある。

【0075】すなわち低い流量のN₂をキャリアガスとして、温度760℃で活性層と導波層を成長し、引き続き温度とN₂の流量を維持しつつ原料ガスを切り替えてAlGaInを成長する。次にキャリアガスをH₂に切り替えると同時にその流量を増加し、さらに温度を1100℃に上昇しつつ成長を中断することなくAlGaInクラッド層を成長する。

【0076】このように、活性層と導波層の形成を流量の低い高純度のN₂中で行うことにより、流量の大きいH₂による活性層とGaIn導波層の品質の低下を回避することができる。

【0077】H₂とN₂との混合ガスを第1、第2のキャリアガスとし、第1のキャリアガスは低いH₂組成、第2のキャリアガスは高いH₂組成として、成長の途中で第1の流量の第1のキャリアガスから、第2の流量の第2のキャリアガスに切り替える方法を用いても同様の結果を得ることができる。

【0078】さらに図8に示すように、キャリアガスとしてH₂の代わりに全てN₂を用いることもできる。このとき、酸素との反応性の高いAlGaInクラッド層の成長が高温で、かつ、非還元性のN₂ガス中で行われるため、とくにN₂ガスは高純度でなくてはならない。

【0079】図8に示すように、このとき成長温度の上昇をAlGaInクラッド層中で行うことによりヘテロ界面における欠陥密度が低減し、良好な結果が得られることはいままでの。

【0080】第4の実施の形態において、温度又はキャリアガスの切り換えをクラッド層中で行う場合について説明したが、同様の効果は前記切り換えを導波層中で行う場合についても得ることができる。

【0081】次に図9に基づき、本発明の第5の実施の形態について説明する。第1乃至第4の実施の形態において、成長温度とH₂ガス流量とがGaIn系多層構造の成長に及ぼす影響について説明したが、エピタキシャル成長槽の圧力と、成長槽に供給される原料ガスの1つであるNH₃の流量とが前記界面領域における欠陥の発生に密接に関連する。

【0082】先に述べたように、AlGaInクラッド層とGaIn導波層とのヘテロ界面で圧力とNH₃の流量を切り換えれば、ヘテロ界面に多量の欠陥が導入される。圧力を下げればMQW活性層とGaIn導波層の結晶性が改善されるが、AlGaInクラッド層との境界で圧力を高圧に切り換え、かつ、NH₃の流量も同時にAlGaInクラッド層の成長に見合う条件に切り換えれば、両者の相乗効果によりヘテロ界面に多量の欠陥が導入され

る。

【0083】しかし、圧力を下げればガスの流れが早くなり、成長槽内の種々のガスがよく混合されるため成長条件が安定し、より小さい NH_3 の流量で欠陥密度の小さいヘテロ界面が得られることに注目しなければならない。

【0084】この現象を利用して良好なヘテロ界面を得る方法を図9に示す。ここでは圧力の増加は GaN 導波層と AlGaIn クラッド層とのヘテロ界面の成長が終了した後、 AlGaIn クラッド層の成長中に行われる。従って前記 MQW 活性層と GaN 導波層の成長は低圧条件で行われ良好な結晶性が確保される。

【0085】ここで、ヘテロ界面の欠陥密度と密接に関連する NH_3 の流量の切替え方法についてさらに詳細に説明する。キャリアガス H_2 と同様に、高温において NH_3 にも GaN の表面を荒れた状態にする作用がある。この作用が AlGaIn とのヘテロ界面に多量の欠陥を導入する原因となるので、前記ヘテロ界面の形成時には NH_3 の流量は小さい方が望ましい。

【0086】しかし、 H_2 とは異なり NH_3 はエピタキシャル成長の原料であり、成長する GaN 系の膜の種類にしたがって膜の組成 N の値が適正になるように制御する必要がある。このため、 NH_3 の流量を荒れのない良好な表面を得る条件まで下げることは通常困難と考えられていた。

【0087】しかし、上記したように成長槽の圧力を下げることにより、ガスの流れが早くなり、 NH_3 が成長槽内でよく混合するようになるため、 NH_3 の流量が通常の成長条件より小さくされても、エピタキシャル成長層の組成は正常に保たれる。

【0088】従って成長槽の圧力を下げることにより、表面荒れの原因となる NH_3 の流量を下げる事が可能となり、このように圧力を下げた条件で GaN 導波層と AlGaIn クラッド層と接続部を成長すれば、欠陥密度の少ないヘテロ界面を得ることができる。

【0089】すなわち図9に示すように、 GaN 導波層と AlGaIn クラッド層とのヘテロ界面を低圧条件で成長すれば、前記ヘテロ界面に隣接する AlGaIn クラッド層の一部は通常よりも低圧で成長することになる。

【0090】従って前記 AlGaIn クラッド層の一部を成長するのに必要な NH_3 の流量は、図7の両端における正常値よりも一段低く、かつ GaN 導波層及び MQW 活性層の成長に必要な NH_3 の流量より大きい、中間の値とすることができる。

【0091】このように、欠陥を生じやすいヘテロ界面を良好な結晶性を得るのに好適な低圧条件で、かつ、表面荒れの原因となる NH_3 流量の小さい条件で形成することにより、欠陥密度の少ないヘテロ界面を得ることができる。

【0092】図9に示すように、同様な方法は p 型側の

みならず n 形側にも用いることができる。また、この方法によれば、図21で説明したヘテロ界面における欠陥の不均一分布に基づく発光の不均一性を回避することができる。

【0093】上記の説明では圧力と NH_3 流量の切替えを AlGaIn クラッド層中で行ったが、必ずしもクラッド層中で切り換える必要はなく、 GaN 導波層中に行ってもよい。 GaN 導波層中で圧力と NH_3 流量の切替えを行う方法を図10に示す。 GaN 導波層中で圧力を低圧条件から高圧条件に切り替えれば、図10に示すように GaN の成長に必要な NH_3 の流量を増加しなければならない。また、 GaN 導波層に隣接する AlGaIn クラッド層を成長する際には、さらに NH_3 の流量を増加しなければならない。

【0094】しかし、この方法を用いれば、ヘテロ界面で圧力を切り替える従来の方法に比べて、前記ヘテロ界面における NH_3 流量の増加が少ないことがわかる。このため、ヘテロ界面の欠陥密度を低下させることができる。同様な方法は p 型側のみならず n 形側にも用いることができる。

【0095】なお、前記第4、第5の実施の形態において、温度、キャリアガスの流量、圧力及び NH_3 流量の切替えを、 AlGaIn クラッド層と GaN コンタクト層とのヘテロ界面で行うことができる。その理由は、先に図6で説明したように、クラッド層とコンタクト層には共に不純物が高濃度に添加されているので、欠陥の発生が界面の抵抗増加に及ぼす影響が小さいためである。

【0096】次に図11に基づき本発明の第6の実施の形態を説明する。高効率の LD 発光を得るのに必要な電流狭窄構造の形成に、前述の高密度の欠陥を含む界面領域を応用することができる。

【0097】図11に示すように、アンドープ GaIn 領域13を選択エッチングすることによりストライプ型に開口し、図12に示すように、その上に $p\text{-GaIn}$ コンタクト層10を成長する。このときエピタキシャル成長の下地は、前記ストライプの中に露出した $p\text{-AlGaIn}$ 層9と、前記ストライプの形成に用いたアンドープ GaIn 領域13である。前記 $p\text{-GaIn}$ コンタクト層の成長の際に、成長温度の上昇と H_2 ガス流量の増加を同時に行う。

【0098】前述したように AlGaIn 層9は高温、高 H_2 ガス流量の条件で安定な表面であるため、その上に成長する $p\text{-GaIn}$ 、10との間にヘテロ界面での欠陥の発生が抑制される。しかし、アンドープ GaIn 領域13は高温、高 H_2 ガス流量の条件で表面に荒れを生じ、 $p\text{-GaIn}$ コンタクト層10との界面には多量の欠陥が発生する。従って図20で説明したのと同様に、前記界面に正孔の流れに対する障壁が形成されるため、正孔の注入電流をブロックすることができる。

【0099】アンドープ GaIn 層13は高抵抗であるか

ら、特に界面欠陥による障壁を発生させることにより正孔電流をブロックする必要はないと考えられるかもしれない。しかし、Ga_{0.95}N層中には通常基板側から成長方向につながる多くの転位が存在し大きなリークパスを形成するため、電流ブロックの役割を果たすことができない。そこで欠陥層8により界面に障壁を形成し、アンドープGa_{0.95}N層13の成長方向に流れるリークパスをシールすることにより、アンドープGa_{0.95}N層13の正孔電流ブロック作用が有効になる。

【0100】このように、アンドープGa_{0.95}N層13を用いて、p-Ga_{0.95}Nコンタクト層10に埋め込まれたストライプ型電流狭窄構造を形成することにより、従来SiO₂等の絶縁膜を開口して形成された電流狭窄構造に比べて、加工歪みをいちじるしく小さくすることができる。従って、活性層6のより近くで電流狭窄を行い、高い発光効率を実現することができる。

【0101】第6の実施の形態では、高密度の欠陥を含む界面領域をストライプ型の電流狭窄構造の形成に用いる方法を説明したが、このような応用は本実施の形態に限定されるものではない。この方法を拡張することにより、従来知られていなかった種々の電流狭窄構造を形成することができる。

【0102】次に図13、図14に基づき本発明の第7の実施の形態について説明する。図13は、第7の実施の形態におけるGa_{0.95}N系LDの断面構造を示す略図である。本Ga_{0.95}N系LDは、サファイア基板1、Ga_{0.95}Nバッファ層2a、n-Ga_{0.95}Nコンタクト層2 (Siドープ、 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、厚さ4 μm)、n-Al_{0.15}Ga_{0.85}Nクラッド層4 (Siドープ、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、厚さ0.3 μm)、n-Ga_{0.95}N導波層5 (Siドープ、厚さ0.1 μm)、In_{0.2}Ga_{0.8}N量子井戸 (アンドープ、2 nm) が5層とそれを挟むIn_{0.05}Ga_{0.95}N障壁層 (アンドープ、厚さ4 nm) からなる活性層6、p-Ga_{0.95}N導波層7 (Mgドープ、厚さ0.1 μm)、p-In_{0.05}Al_{0.2}Ga_{0.75}Nバッファ層8a (Mgドープ、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、厚さ0.1 μm)、p-Al_{0.15}Ga_{0.85}Nクラッド層9 (Mgドープ、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、厚さ0.3 μm)、p-Ga_{0.95}Nコンタクト層10 (Mgドープ、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、厚さ1 μm)、SiO₂ からなる絶縁膜11、Pt (5 nm) / Ti (50 nm) / Pt (30 nm) / Au (100 nm) 構造からなるp側電極12a、Ti / Auのp側電極パッド12、Ti / Auのn側電極3からなっている。

【0103】図13に示すGa_{0.95}N系LDの多層構造は、1回のMOCVD法によりサファイア基板上に連続的に成長した。本実施の形態では、サファイア基板上のGa_{0.95}Nバッファ層2aは550°Cで、n-Ga_{0.95}Nコンタクト層2からn-Ga_{0.95}N導波層5までは1100°Cで、量子井戸活性層6からp-In_{0.05}Al_{0.2}Ga_{0.75}Nバッ

ファ層8aまでは800°Cの温度でそれぞれ成長し、p-In_{0.05}Al_{0.2}Ga_{0.75}Nバッファ層8a形成のための原料ガス供給を維持し、連続的に結晶成長を行いながら1100°Cまで昇温し、連続してp-Al_{0.15}Ga_{0.85}Nクラッド層9及びp-Ga_{0.95}Nコンタクト層10を1100°Cで結晶成長した。

【0104】次に全体にSiO₂絶縁膜11で被覆し、ストライプ型の上部電極形成部を開口した。p-Ga_{0.95}Nコンタクト層10の表面に開口した幅10 μm の領域に、Pt / Ti / Pt / Au構造のp側電極12aを順次積層し、さらに、350°Cの窒素雰囲気中で電極の熱処理を施せば、Ptが適度に下方に拡散し、p側電極のコンタクト抵抗を低減すると同時に、p-Ga_{0.95}Nコンタクト層10から上方に拡散するNとTiとが固相反応し、安定な化合物を形成することにより動作中におけるコンタクト特性の劣化を防止することができる。

【0105】次にp側のTi / Au電極パッド12をp側電極12aとSiO₂絶縁膜11の上に形成した。さらにn側電極形成のためにp側電極を含んだメサ形状を形成し、メサ下部に現れたn-Ga_{0.95}Nコンタクト層2にn側のTi / Au電極3を形成した。以上の工程においてp電極12aの形成は、n側電極3の形成前に行ったが、n側電極3を形成、熱処理の後にp電極12aの形成を行ってもよい。

【0106】次にサファイア基板1を50 μm まで鏡面研磨し、p側電極に対して垂直方向 (Ga_{0.95}Nの(111 (バー) 00) 面または(112 (バー) 0) 面) に壁開し、長さ1 mmのLDチップを形成した。光出射共振器の端面にはSiO₂ / TiO₂多層構造の高反射膜コーティングを施す。さらにLDチップ裏面にはCr / Auを形成し、Cuやダイヤモンド等の熱伝導度の高いヒートシンク上にAuSn共晶半田を用いて熱圧着した。

【0107】本実施の形態で説明したGa_{0.95}N系LDは、しきい値電流80 mAで室温連続発振することができた。発振波長は420 nm、動作電圧は5 Vであり、50°C、30 mW動作における素子寿命は5000時間以上であった。

【0108】第7の実施の形態におけるGa_{0.95}N系LDのバンド構造を図14に示す。このLDはp-In_{0.05}Al_{0.2}Ga_{0.75}Nバッファ層8aを形成することにより、禁制帯幅を大きくすることが可能になり、図の矢印に示すようにn型側から量子井戸活性層に注入された電子がp型側へ溢れ出すキャリアオーバーフロー効果を抑制することができ、従って高い発光効率を得ることができた。

【0109】また本実施の形態では、p-Ga_{0.95}N導波層7を形成し、p-In_{0.05}Al_{0.2}Ga_{0.75}Nバッファ層8aを介してp-Al_{0.15}Ga_{0.85}Nクラッド層9を形成し、成長温度の上昇を前記p-In_{0.05}Al_{0.2}Ga_{0.75}Nバッファ層8aとp-Al_{0.15}Ga_{0.85}Nクラ

ッド層9のヘテロ界面で、エピタキシャル成長過程を中断することなく行うことにより、ヘテロ界面における欠陥密度を大幅に低減することができた。

【0110】その理由は、 $p\text{-Ga}_x\text{N}$ 導波層7と $p\text{-In}_{0.05}\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.75}\text{N}$ バッファ層8aとの界面で成長中断がないことと、昇温を前記 $p\text{-In}_{0.05}\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.75}\text{N}$ バッファ層8aと $p\text{-AlGa}_x\text{N}$ クラッド層9との界面でエピタキシャル成長を中断することなく行うことにより、いずれの界面においても界面準位の形成を大幅に低減することができ、また高温で安定な $\text{In}_{0.05}\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.75}\text{N}$ バッファ層8aの界面で昇温が行われるため、欠陥密度も大幅に低減することができるからである。

【0111】従って図16に示す従来構造において、活性層上部の $p\text{-Ga}_x\text{N}$ 導波層7と $p\text{-AlGa}_x\text{N}$ クラッド層9の界面に不均一に存在していた高密度の欠陥を含む界面層8の発生が抑制され、LD共振器への均一なキャリア注入が可能になり、さらに成長中断界面での不均一な抵抗成分が減少することによりLDの動作電圧を低減することができる。

【0112】次に図15に基づき、本発明の第8の実施の形態について説明する。図15は本実施の形態におけるGa_xN系LDの断面構造を示す略図である。第7の実施の形態との相違点は、下部の $n\text{-Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ クラッド層4の不純物Siの添加量が $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ であること、活性層6aが $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 量子井戸（アンドープ、2.5nm）が10層とそれを挟む $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ 障壁層（アンドープ、厚さ5nm）からなること、及びバッファ層8bが $p\text{-In}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}$ （Mgドープ、 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 、厚さ0.1μm）からなることである。

【0113】バッファ層として $p\text{-In}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}$ を用いる場合も、第7の実施の形態と同様の理由で、このバッファ層上に $p\text{-Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ クラッド層を成長する際、温度上昇に伴うエピタキシャル成長過程の中断をする必要がない。このためヘテロ界面における欠陥密度を低減することができる。その製造工程は第7の実施の形態とほぼ同様である。なお、第7、第8の実施の形態ではキャリアガスとして H_2 を用いず、全て N_2 を用いてエピタキシャル成長を行った。

【0114】第8の実施の形態のGa_xN系化合物半導体レーザは、しきい値電流85mAで室温で連続発振した。発振波長は420nm、動作電圧は5.1Vであり、50℃、30mW動作における素子寿命は5000時間以上、20℃から70℃における相対雑音強度は140dB/Hz以下であった。

【0115】第8の実施の形態のLDは、第7の実施の形態と同様、従来界面に発生する欠陥の深い準位による非発光キャリア再結合が減少するため、量子井戸への正孔の注入効率が向上する。このほか、本実施の形態のp

$\text{-In}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}$ バッファ層8bは量子井戸のウェル層よりもIn組成が大きく、禁制帯幅が小さいので可飽和吸収体としても動作し、可飽和吸収体による自励発振を起こすことにより優れた低雑音特性を得ることができる。

【0116】第8の実施の形態のLDはLD共振器への均一なキャリア注入が可能になり、LD動作の抵抗成分が減少するばかりでなく、バッファ層が可飽和吸収体としても働くため光ディスクのピックアップ用光源として、優れた低雑音特性が得られた。

【0117】前記第7、第8の実施の形態において、 InAlGa_xN 又は InGa_xN バッファ層をGa_xN導波層と AlGa_xN クラッド層との間に形成する場合について説明したが、同様な効果は $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_z\text{B}_{1-x-y-z}\text{N}$ （ $0 \leq x, y, z \leq 1, 0 \leq x+y+z \leq 1$ ）からなるバッファ層を用いることにより得ることができる。また前記バッファ層は必ずしも導波層とクラッド層との間に形成する必要はなく、活性層とクラッド層との間に形成すれば同様な効果が得られる。

【0118】なお、本発明は上記の実施の形態に限定されることはない。以上の実施の形態では、全てサファイア基板上に形成した青色LD、青緑色高輝度LEDを例として説明したが、例えば、SiC等の導電性基板上のLD、LEDの形成にも適用することができる。また、LD、LED等の半導体発光装置のほか、受光素子等の光デバイスにも適用することができる。このほか一般に半導体装置の多層構造形成に際して複数の昇温、降温過程がある場合に、本発明を拡張して適用することができる。その他本発明の要旨を逸脱しない範囲で、種々に変形して実施することができる。

【0119】

【発明の効果】上述したように、本発明の半導体発光装置の製造方法によれば、成長温度、キャリアガスの種類と流量、成長槽の圧力、または NH_3 の流量等、活性層形成後の多層構造の成長条件とこれを切り換える場所を選択することにより欠陥密度を低減し、Ga_xN系半導体発光装置の効率の向上と、しきい値電流の低減を図ることができる。従って低消費電力、高出力、高信頼性のGa_xN系半導体発光装置を得ることができる。

【0120】またGa_xN系半導体発光装置の構造と成長条件を、特に高密度の界面領域を発生するよう選定することにより、Ga_xNを構成要素とする優れた電流狭窄構造を形成することができる。

【0121】本発明の半導体発光装置によれば、活性層の上にこれと同じ成長温度で連続的にIn元素を含む InAlGa_xN バッファ層を形成し、さらに InAlGa_xN バッファ層と同一導電型の AlGa_xN クラッド層を高温で連続的に形成することにより、クラッド層と活性層との間に生ずる欠陥と、これに伴う抵抗を低減することができる。またバッファ層のIn組成を増加して、可飽

和吸収体として動作することにより、低雑音の光ピックアップ用光源を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施の形態に係る半導体発光装置のバンド構造と成長条件との関係を示す図。

【図2】本発明の第1の実施の形態の効果を説明するためのエネルギーバンド構造の模式図。

【図3】本発明の第1の実施の形態の効果を説明するためのエネルギーバンド構造図。

【図4】本発明の第1の実施の形態における活性層からの均一な発光を示す図。

【図5】本発明の第2の実施の形態に係る半導体発光装置のバンド構造と成長条件との関係を示す図。

【図6】本発明の第3の実施の形態の効果を説明するためのエネルギーバンド構造の模式図。

【図7】本発明の第4の実施の形態に係る半導体発光装置のバンド構造と成長条件との関係を示す図。

【図8】本発明の第4の実施の形態に係る半導体発光装置のバンド構造と他の成長条件との関係を示す図。

【図9】本発明の第5の実施の形態に係る半導体発光装置のバンド構造と他の成長条件との関係を示す図。

【図10】本発明の第5の実施の形態に係る半導体発光装置のバンド構造と他の成長条件との関係を示す図。

【図11】本発明の第6の実施の形態に係る半導体発光装置の電流狭窄構造形成法の途中段階を示す断面図。

【図12】本発明の第6の実施の形態に係る半導体発光装置の電流狭窄構造形成法を示す断面図。

【図13】本発明の第7の実施の形態に係る半導体発光装置の断面図。

【図14】本発明の第7の実施の形態に係る半導体発光装置のバンド構造を示す図。

【図15】本発明の第8の実施の形態に係る半導体発光

装置の断面図。

【図16】従来のGa_{0.5}N系半導体発光装置の断面図。

【図17】従来のGa_{0.5}N系半導体発光装置のバンド構造と成長条件との関係を示す図。

【図18】従来のGa_{0.5}N系半導体発光装置のバンド構造と他の成長条件との関係を示す図。

【図19】従来のGa_{0.5}N系半導体発光装置の製造方法の問題点を説明するためのエネルギーバンド構造の模式図。

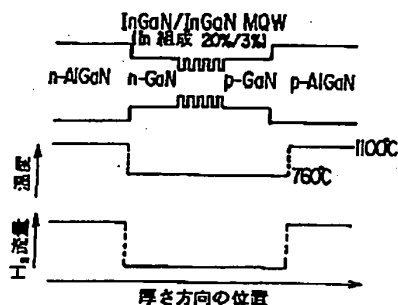
【図20】従来のGa_{0.5}N系半導体発光装置の製造方法の問題点を説明するためのエネルギーバンド構造図。

【図21】従来のGa_{0.5}N系半導体発光装置の活性層からのスポット状の発光を示す図。

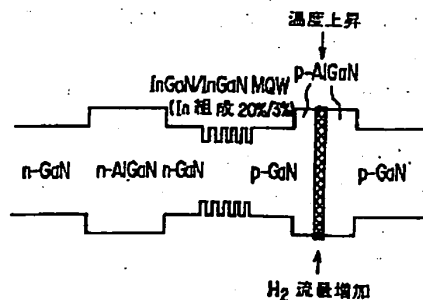
【符号の説明】

- 1…サファイア基板
- 2…n-GaNコンタクト層
- 2a…Ga_{0.5}Nバッファ層
- 3…Ti/Au下部電極
- 4…n-AlGa_{0.5}Nクラッド層
- 5…n-GaN導波層
- 6、6a…InGa_{0.5}N/InGa_{0.5}N超格子活性層
- 7…p-GaN導波層
- 8…高密度の欠陥を含む界面層
- 8a…p-InAlGa_{0.5}Nバッファ層
- 8b…p-InGa_{0.5}Nバッファ層
- 9…p-AlGa_{0.5}Nクラッド層
- 10…p-GaNコンタクト層
- 11…SiO₂絶縁膜
- 12…Ti/Auパッド電極
- 12a…Pt/Ti/Pt/Au上部電極
- 13…アンドープGa_{0.5}N

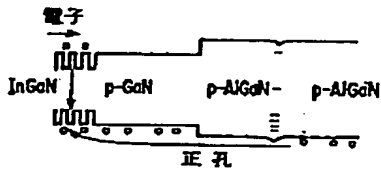
【図1】



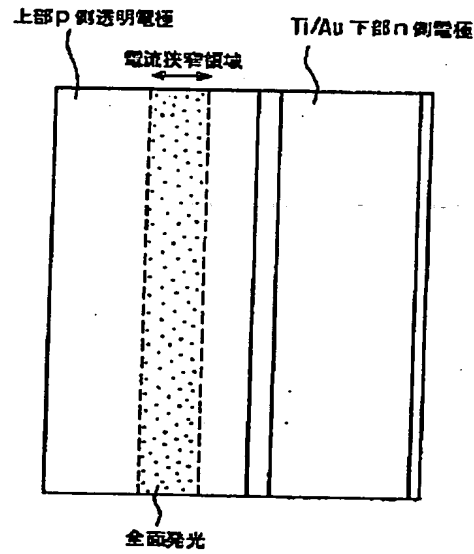
【図2】



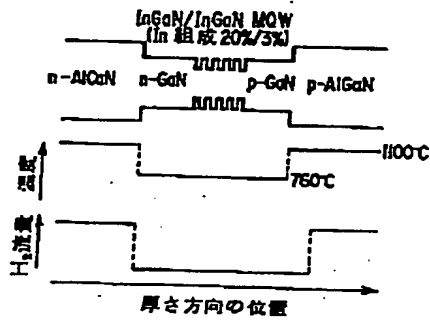
【図3】



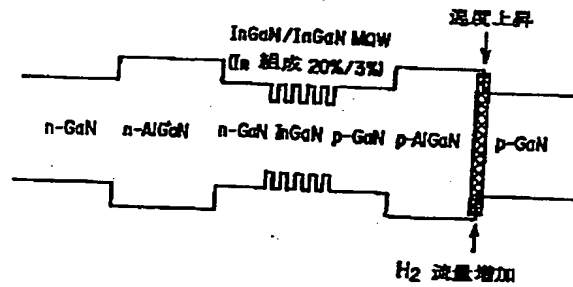
【図4】



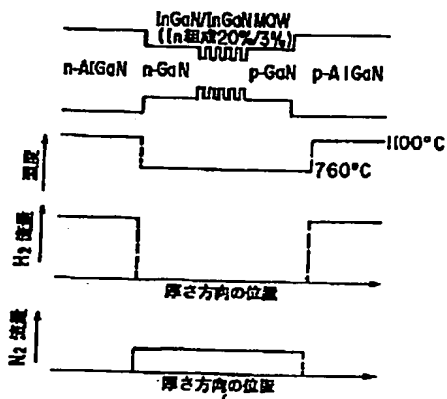
【図5】



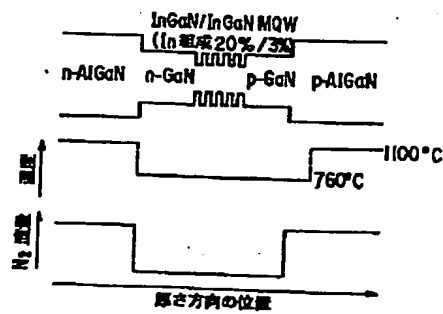
【図6】



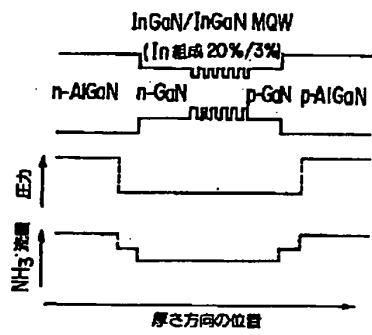
【図7】



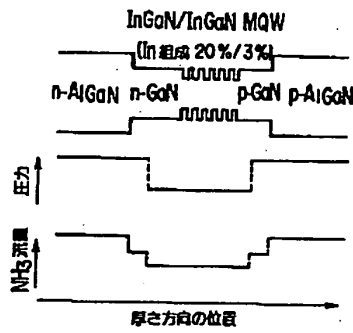
【図8】



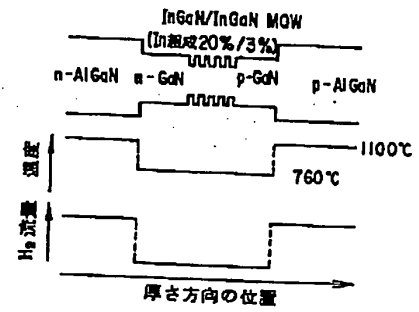
【図9】



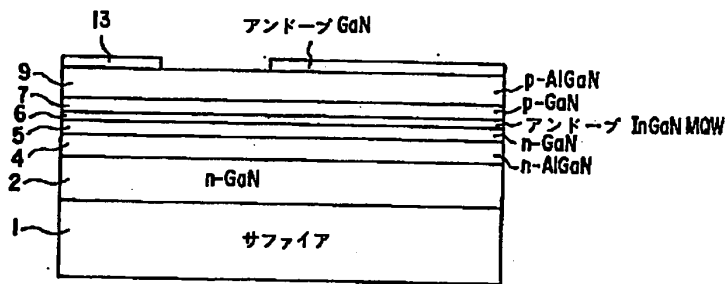
【図10】



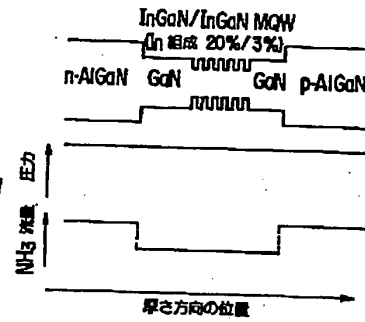
【図17】



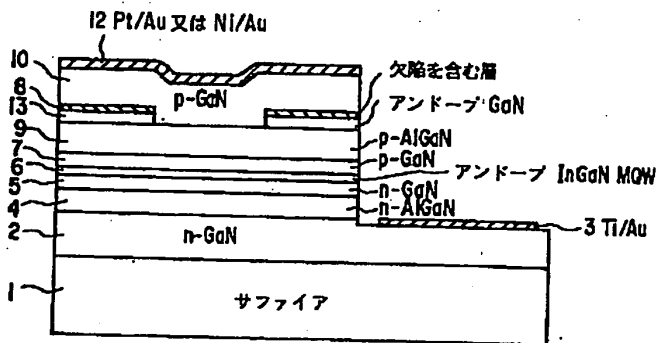
【図11】



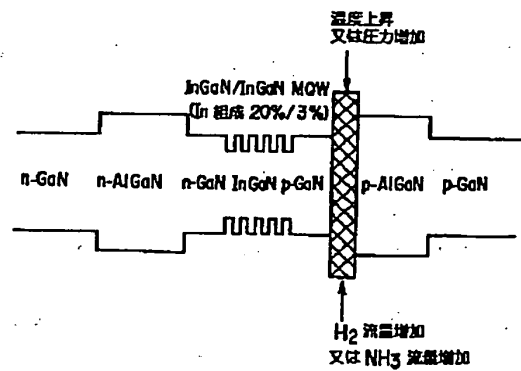
【図18】



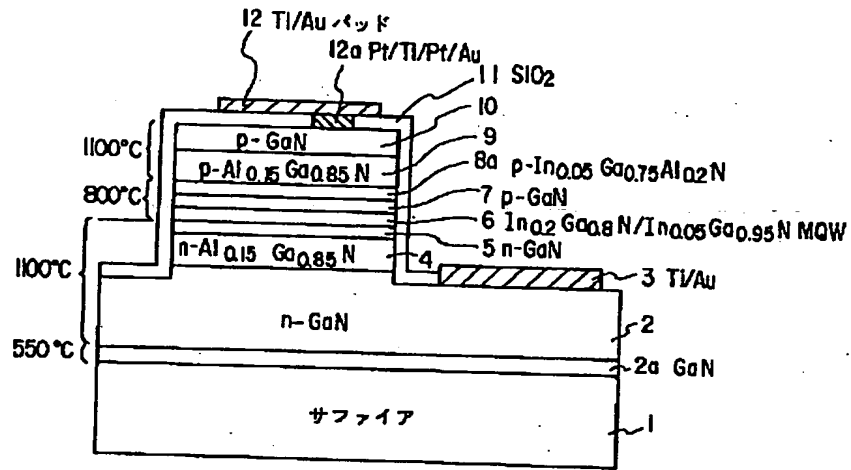
【図12】



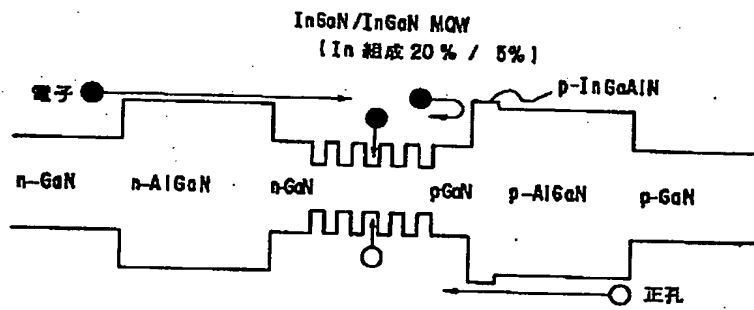
【図19】



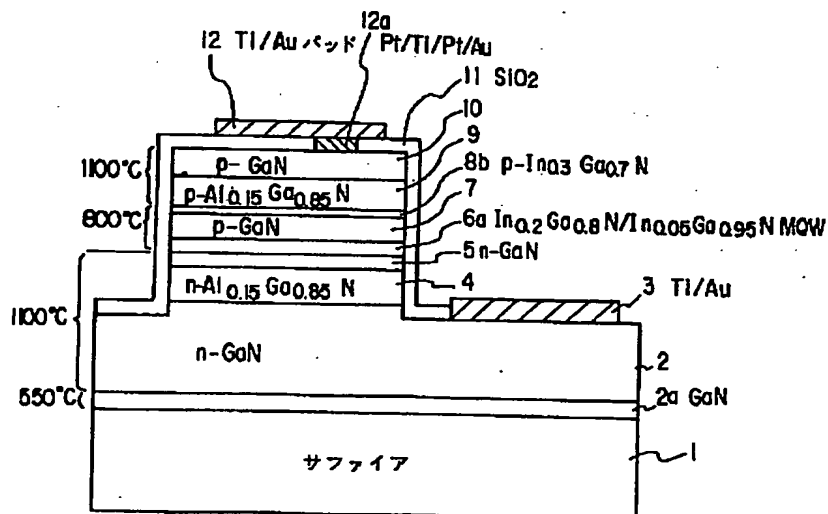
【図13】



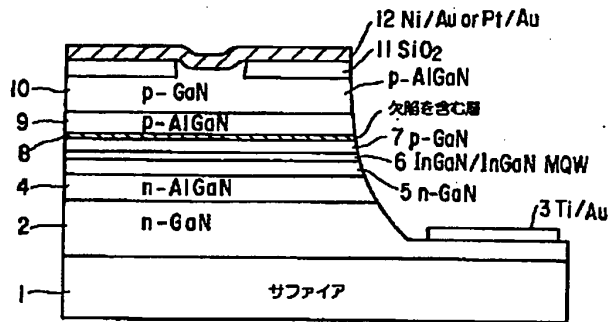
【図14】



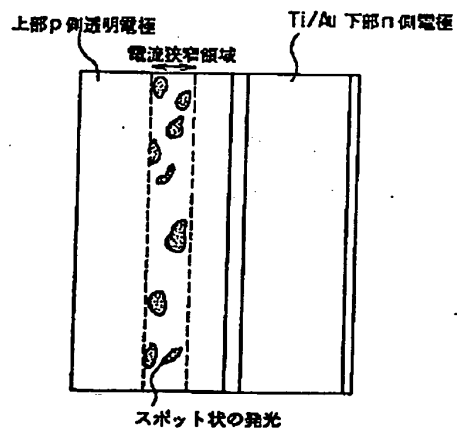
【図15】



【図16】



【図21】



【図20】

